

中国科学院生态环境研究中心环境水质学实验室

检测报告

报告编号: SKLEAC/BG-201812018

样品名称 金泽水库原水样品

送检单位 上海城投原水有限公司

编制人: _____

审核人: _____

批准人: _____

签发日期: 2019 年 01 月 08 日

邮箱: szfxsys@126.com
地址: 北京市海淀区双清路 18 号

电话: 010-62849135
传真: 010-62923541

金泽水库浮游植物监测 2018 年度报告

1.项目与目标

位于上海市青浦区的新建金泽水库作为上海市饮用水水源地，自建成运行后出现季节性藻类爆发的问题，并偶尔检出较高浓度的致嗅物质 2-甲基异莰醇 (2-MIB)，导致水体呈现土霉味，影响饮用水的安全性和可接受性。为保障水库供水水质安全，本项目针对水库浮游植物及致嗅物质展开高频调查与数据分析，以探明水库相关水质问题成因。

2.研究内容

全面收集太浦河来水历史水文水质资料，开展太浦河来水水质监测，调查金泽水库藻类的来源；对金泽水库不同季节、不同点位的藻类进行现场监测，掌握库内藻类时空分布规律。对金泽水库水质、水力、水文、气象数据进行立体监测，分析这些条件对藻类种群结构及动态变化的影响；在监测数据的基础上，分析金泽水库致嗅物质的季节性变化规律；开展水位调控和物理机械除藻的方式对水体表层聚集藻类控制的效果研究，以及臭味物质处理、生物去除效果研究。

3. 研究方案

3.1 采样点的设置

根据金泽水库地形及流场分析，在库区共设置了 7 个常规采样点，分别为取水口 (JZ01)、引水渠 (JZ05)、李家荡 (JZ04)、库中央 (JZ03)、乌家荡中心 (JZ00)、输水口 (JZ02) 和泵房 (JZ06)。位置如下表所示，采样深度为 0.5 m、1 m、3 m 和 6 m (地底上 0.5 m 处，随水位调整采样深度)。采样频率每周 1 次 (如遇恶劣天气等特殊状况，对采样时间做适当调整)。

此外，为了解金泽水库来水水质，每月定期调查对金泽水库上游太浦河设置了 5 个采样点表层 (水下 0.5 m) 水样浮游植物及致嗅物质，采样点位置分别为太浦闸桥 (TP01)、平望大桥 (TP02)、黎里东大桥 (TP03)、汾湖大桥 (TP04) 和元荡桥 (TP05)。

3.2 监测方案

本项目中采用的监测方案如下图所示。其中，水体透明度与常规物理化学指标 (水温、溶解氧、电导率、浊度、pH 等) 在现场通过透明度盘与多参数水质监测仪测定。营养盐、致嗅物质 (2-MIB 与土臭素 geosmin) 及浮游植物在实验室进行进一步检测分析。浮游植物样品采用 5% 鲁哥氏液固定，静置 48 小时后富集镜检计数。

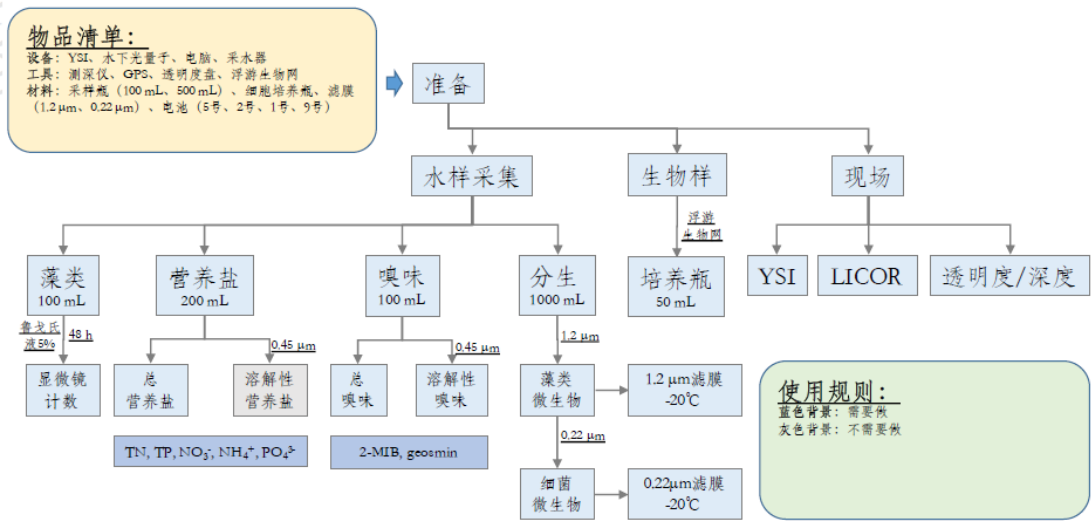


图 1 监测方案

3.3 各采样点的位置

下表为水库内外包含太浦河各采样点的经纬度。

表 1 各采样点的经纬度

采样点	采样点编号	经度	纬度
乌家荡中心	JZ00	120.959	31.03279
取水口	JZ01	120.9421	31.02057
输水口	JZ02	120.9635	31.032
库中央	JZ03	120.9548	31.03537
李家荡	JZ04	120.9458	31.04064
引水渠	JZ05	120.9425	31.02516
泵房	JZ06	120.9619	31.02485
太浦河闸	TP01	120.4959	31.00997
平望大桥	TP02	120.6412	30.99556
黎里东大桥	TP03	120.737	31.00156
汾湖大桥	TP04	120.872	31.01876
元荡桥	TP05	120.8977	31.01983

4. 结果分析

4.1 致嗅物质

下图为总 2-MIB 在 JZ01 采样点的季节变化情况。今年大概出现过三次高峰，分别为五月中旬、七月中下旬以及九月中旬。其中，5 月 8 日输水采样点 JZ02 浓度达到了 52 ng/L 的水平；7 月 21 日，取水采样点 JZ01 达到了 102 ng/L，均超过了嗅味阈值。

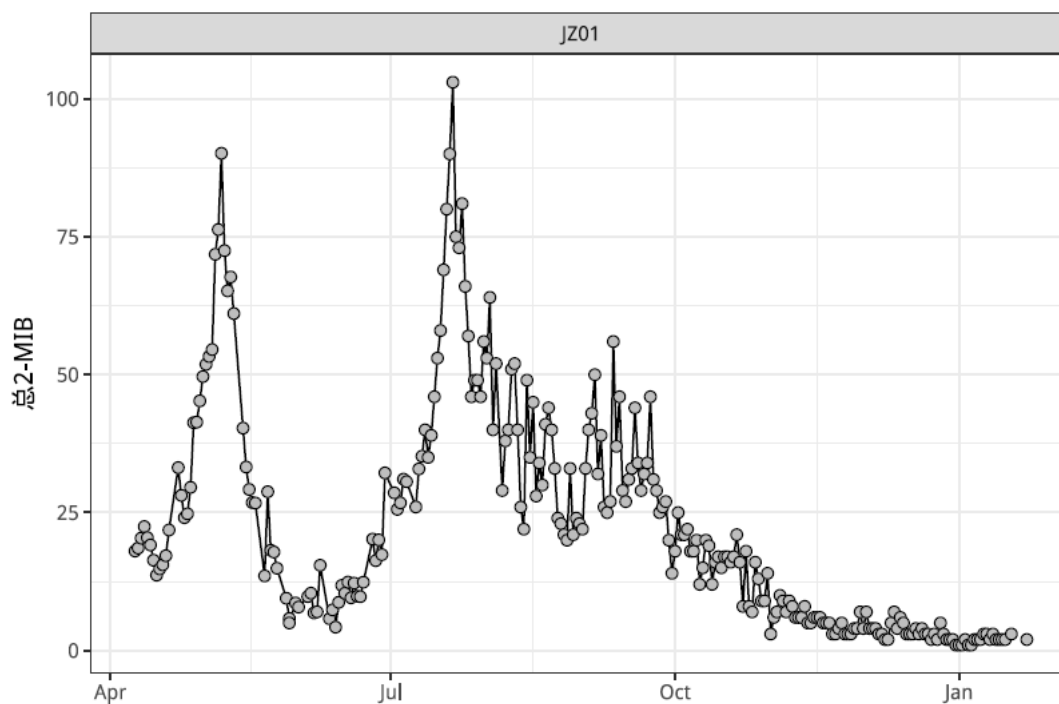


图 2 取水口总 2-MIB 季节变化

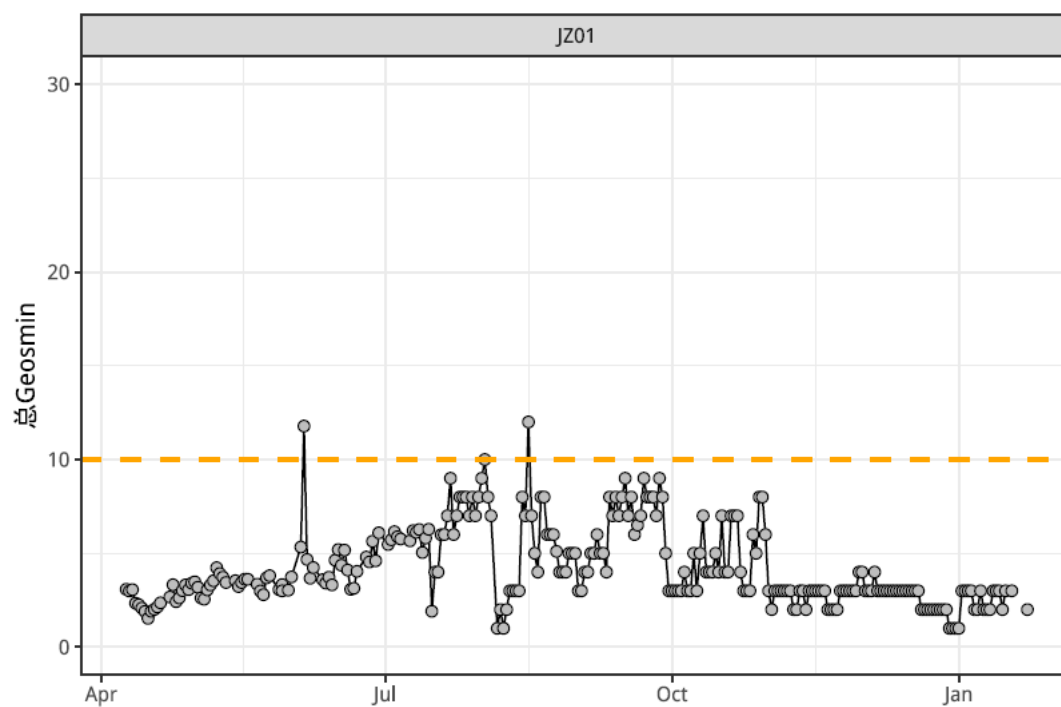


图 3 取水口 geosmin 季节变化

图 3 为金泽水库中土臭素 geosmin 季节分布，除了九月中旬和 8 月中旬达到 2 次峰值 12 ng/L，全年其余时间均低于嗅味阈值 10 ng/L，因此土臭素目前不是该水库的主要致嗅物质。

4.1.1 2-MIB 的时空分布

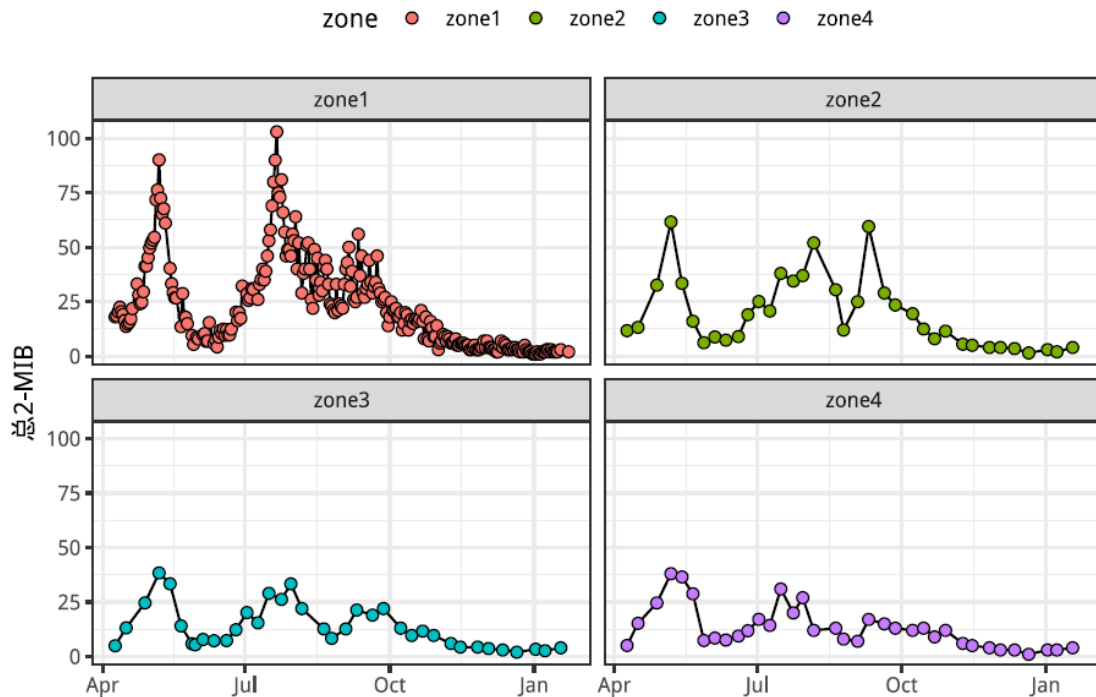


图 4 总 2-MIB 的时空分布

上图为金泽水库内外 2-MIB 的时空分布, zone1 为太浦河取水口, zone2 为李家荡库区, zone3 为乌家荡库区, zone4 为泵房。可以看出, 2-MIB 浓度从取水口到输水口 2-MIB 逐渐降低, 大部分时间浓度降低达 50% 以上。

为进一步确定致嗅物质在库区空间分布特征, 18 年 7 月在库区开展了总 2-MIB 的空间调查, 其结果如下图所示。结果进一步验证了 2-MIB 在水库中沿程下降的规律, 后续的研究将进一步考察致嗅物质的消亡机制与途经。

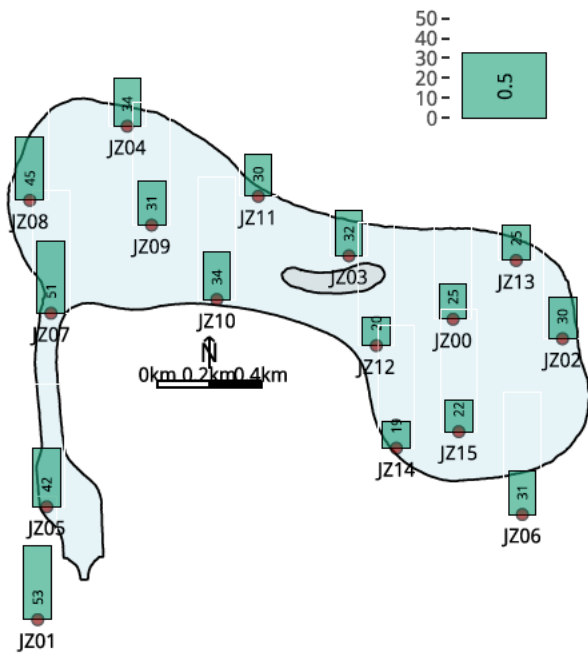


图 5 2018 年 7 月 16 日总 2-MIB 分布

下图为 2-MIB 的胞内外分布结果。可以看出，水体中 2-MIB 主要以溶解态形式存在于水体中，且沿库内水流方向胞外占比有增加趋势。

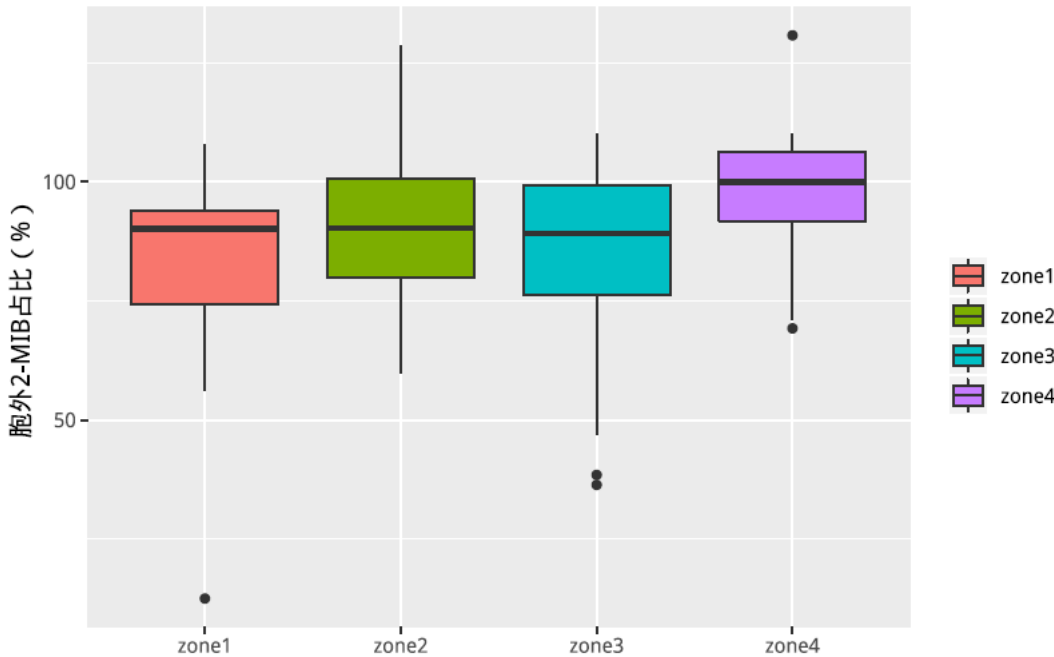


图 6 不同库区 2-MIB 胞内外占比分布情况

4.1.2 2-MIB 垂向分布特征

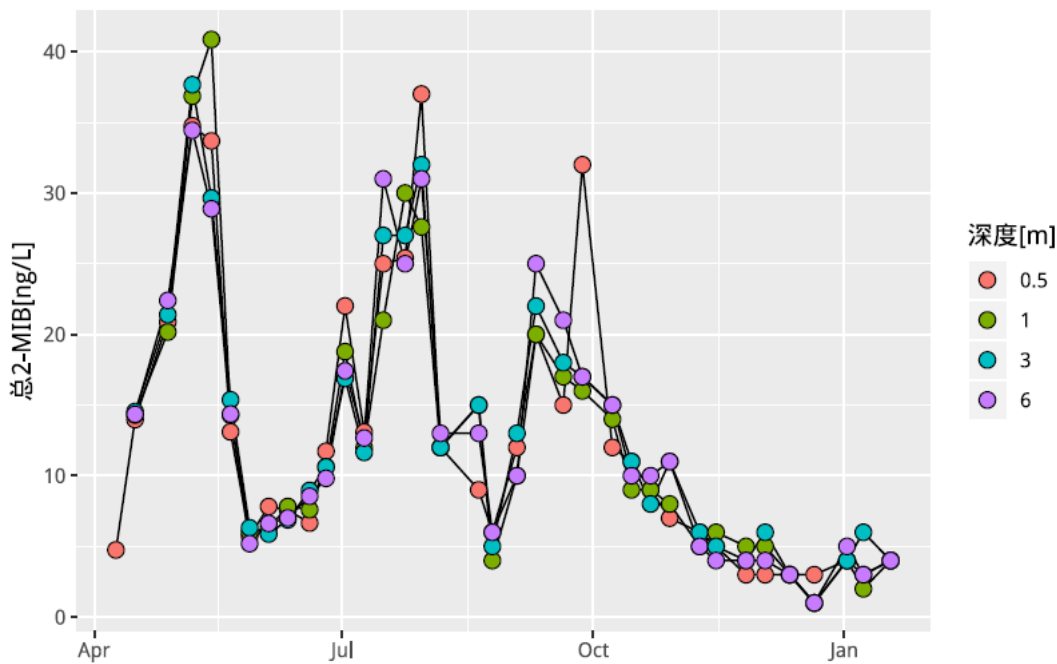


图 7 JZ00 点总 2-MIB 的垂向分布

图 7 为乌家荡库区 JZ00 点不同深度的 2-MIB 浓度的垂向分布，该图表明，JZ00 采样点的垂直分布变化趋势保持一致，说明水体混合均匀，也可推测致嗅物质主要为外源引入。

4.2 浮游植物分析

4.2.1 浮游植物的种类组成

2018 年在金泽水库调查中共采集到 8 门 97 属，详细检测到的藻类种群信息见下表。

表 2 2018 年金泽水库藻类种群检出情况

藻门	种属（按总密度排序）
硅藻	直链藻、针杆藻、小环藻、卵形藻、菱形藻、曲壳藻、双壁藻、舟形藻、明盘藻、星杆藻、
	异极藻、脆杆藻、圆筛藻、短缝藻、羽纹藻、桥弯藻、四棘藻、平板藻、双菱藻、等片藻、

绿藻	布纹藻、根管藻、波缘藻、辐节藻、菱板藻、双肋藻、棒杆藻、肋缝藻
	小球藻、栅藻、裂丝藻、游丝藻、十字藻、衣藻、鼓藻、四星藻、异形藻、空球藻、盘星藻、
	丝藻、卵囊藻、四角藻、空星藻、四粒藻、月牙藻、弓形藻、蹄形藻、多芒藻、顶棘藻、肾形藻、
	集星藻、翼膜藻、四球藻、新月藻、针丝藻、纤维藻、微芒藻、并联藻、浮球藻、四鞭藻、
蓝藻	实球藻、角星鼓藻、纺锤藻、辐球藻、三角藻
	微囊藻、鱼腥藻、假鱼腥藻、平裂藻、隐球藻、束丝藻、席藻、鞘丝藻、颤藻、棒胶藻、浮丝藻、
	色球藻、节旋藻、隐杆藻、腔球藻、棒条藻、尖头藻
甲藻	薄甲藻、拟多甲藻、裸甲藻、多甲藻、角甲藻
裸藻	囊裸藻、裸藻、陀螺藻、扁裸藻
金藻	黄群藻、鱼鳞藻、金杯藻、锥囊藻
隐藻	隐藻
黄藻	黄丝藻



图 8 金泽水库绿藻时空分布

上图是绿藻门浓度的时空分布图,该图表明绿藻门四季浓度较稳定,输水口绿藻浓度比其他采样点浓度较高。7月中旬达到 1000 万个/L 水平,其余采样点均低于 300 万个/L 水平。

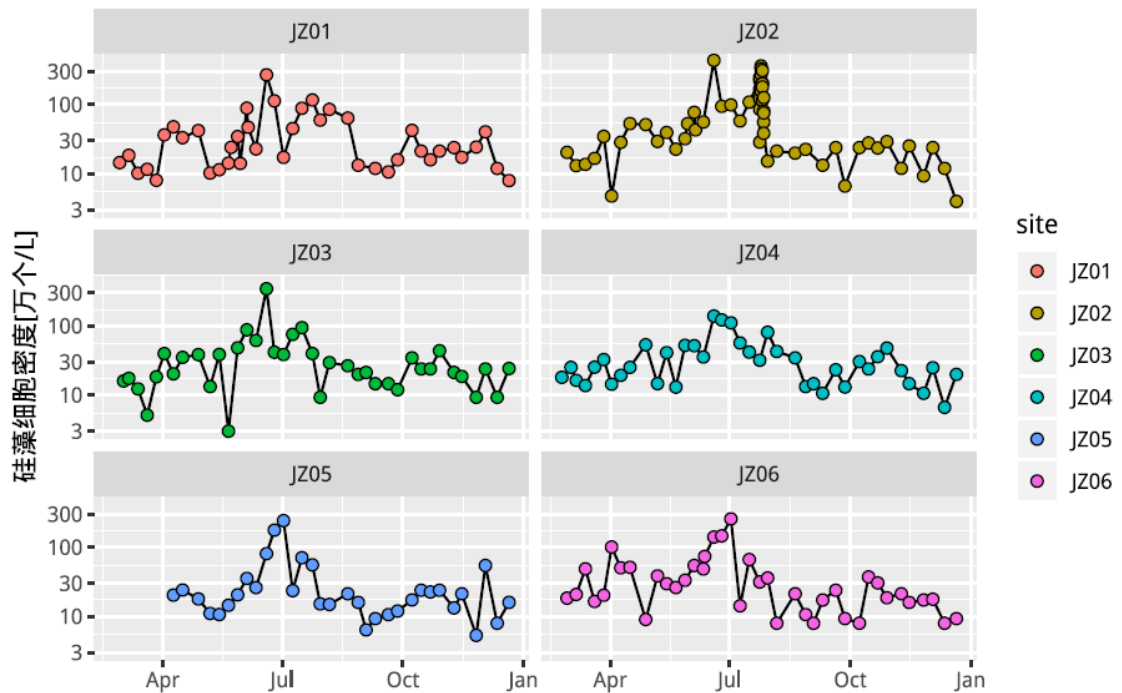


图 9 金泽水库硅藻时空分布

图 9 为金泽水库硅藻浓度时空分布，该图指出，硅藻与绿藻分布相似，四季浓度均稳定在 300 万个/L 水平。

下图是各采样点不同季节蓝藻浓度分布情况，可以看出，蓝藻是金泽水库的优势藻门，库内蓝藻大多由库外流入，少数情况下，在库内爆发。全年浓度正常维持在 500 万个/L 的水平，在蓝藻生长高峰期，甚至会达到 3000 万个/L 的水平。

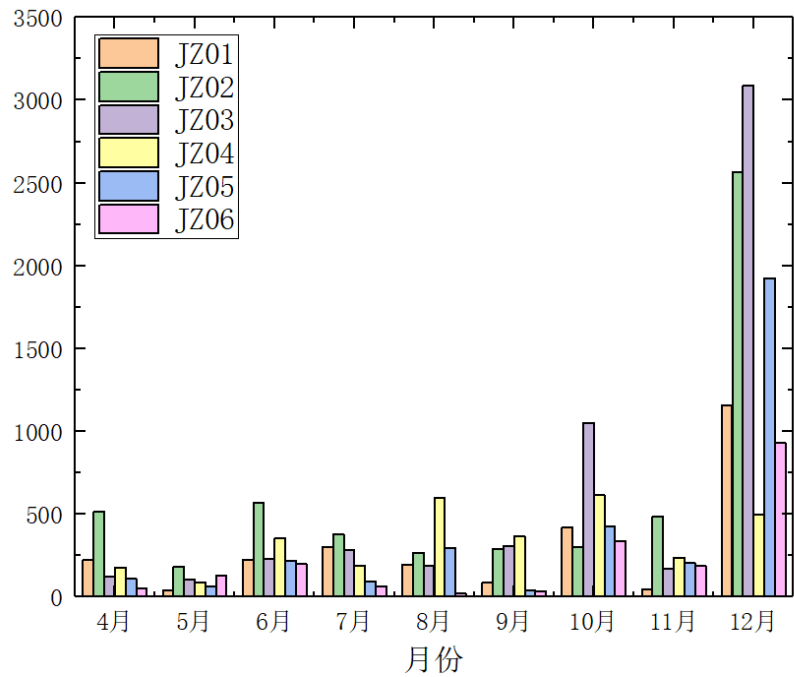


图 10 2018 年 4-12 月各采样点蓝藻的生物密度 (×10000cell/L)

表 3 各采样点各门类藻类生物密度百分比

JZ01	蓝藻	绿藻	硅藻	甲藻	裸藻	金藻	隐藻
4 月	63.47	15.16	11.38	0.29	0.57	0.50	8.64
5 月	30.99	35.33	13.53	1.22	2.56	0.39	15.99
6 月	49.11	16.82	27.04	0.29	0.36	0.07	6.31
7 月	65.45	16.65	14.26	0.00	0.98	0.00	2.66
8 月	62.20	17.52	17.30	0.42	0.56	0.00	1.98
9 月	52.98	25.67	7.83	0.81	0.54	0.00	12.16
10 月	77.65	12.13	4.68	0.06	0.00	0.00	5.48
11 月	28.55	42.47	13.97	0.95	0.00	0.00	14.06
12 月	87.79	5.31	1.52	0.00	0.13	0.07	5.18

JZ02	蓝藻	绿藻	硅藻	甲藻	裸藻	金藻	隐藻
4 月	75.64	13.55	5.06	0.18	0.40	0.48	4.67
5 月	41.96	33.02	7.02	0.31	0.46	0.00	17.23
6 月	47.34	19.38	13.79	0.28	0.69	0.05	18.47
7 月	64.02	18.47	10.47	0.00	0.18	0.13	6.73
8 月	67.65	18.56	5.33	0.00	0.22	0.00	8.23
9 月	38.32	44.52	1.93	0.35	0.00	0.00	14.88
10 月	57.93	15.74	5.00	0.06	0.13	0.06	21.07
11 月	59.77	14.42	1.90	0.05	0.16	0.05	23.63
12 月	85.07	3.92	0.44	0.00	0.07	0.03	10.47

JZ03	蓝藻	绿藻	硅藻	甲藻	裸藻	金藻	隐藻
4 月	36.62	25.11	9.68	0.22	0.15	1.67	26.56
5 月	22.48	30.51	5.49	0.21	0.59	0.05	40.67
6 月	38.14	22.01	22.06	0.11	0.49	0.05	17.15
7 月	53.53	19.17	9.73	0.05	0.50	0.20	16.83
8 月	61.91	24.41	8.31	0.00	0.14	0.00	5.23
9 月	63.32	25.63	2.80	0.36	0.13	0.00	7.76
10 月	85.34	7.34	2.56	0.00	0.00	0.03	4.74
11 月	45.55	24.39	4.34	0.23	0.23	0.00	25.24
12 月	91.65	2.62	0.57	0.00	0.10	0.18	4.87

JZ04	蓝藻	绿藻	硅藻	甲藻	裸藻	金藻	隐藻
4 月	45.53	24.67	7.20	0.19	0.26	0.96	21.19
5 月	29.05	37.11	10.08	0.50	0.83	0.11	22.32
6 月	54.04	14.76	13.33	1.27	0.56	0.05	16.00
7 月	42.10	23.68	14.41	0.00	0.30	0.06	19.45
8 月	78.49	12.28	3.93	0.11	0.46	0.00	4.73
9 月	75.24	14.25	3.22	0.62	0.18	0.00	6.50
10 月	78.19	10.71	4.39	0.13	0.08	0.00	6.50
11 月	61.25	17.90	4.10	0.11	0.00	0.00	16.64
12 月	68.38	10.41	2.35	0.00	0.26	0.85	17.75

JZ05	蓝藻	绿藻	硅藻	甲藻	裸藻	金藻	隐藻
4 月	46.28	29.42	8.57	0.14	0.55	0.69	14.35
5 月	40.48	30.71	8.63	0.15	2.43	0.31	17.29
6 月	47.90	20.58	17.53	0.15	0.15	0.15	13.56
7 月	35.80	23.45	31.13	1.01	1.21	0.20	7.20
8 月	77.39	10.25	4.56	0.12	0.35	0.00	7.34
9 月	34.86	31.62	9.13	1.90	1.14	0.38	20.96
10 月	74.11	13.48	3.81	0.17	0.17	0.06	8.20
11 月	55.72	15.08	3.62	0.12	0.24	0.00	25.22
12 月	91.62	2.84	1.24	0.00	0.08	0.21	4.01

JZ06	蓝藻	绿藻	硅藻	甲藻	裸藻	金藻	隐藻
4 月	23.59	46.77	23.77	0.23	1.35	0.79	3.49
5 月	45.22	34.46	11.07	0.09	1.56	0.00	7.60
6 月	36.92	30.67	18.00	0.18	1.41	0.12	12.69
7 月	24.79	39.31	31.16	0.00	1.59	0.20	2.94
8 月	19.78	61.81	9.20	0.00	0.00	0.00	9.20
9 月	24.04	59.50	11.59	0.30	0.00	0.00	4.58

10 月	76.04	14.88	5.28	0.00	0.00	0.00	3.79
11 月	64.03	25.04	6.22	0.00	0.76	0.00	3.95
12 月	87.52	8.16	1.09	0.00	0.22	0.12	2.89

表 3 指出, 金泽水库内蓝藻门为优势藻门, 并且各个藻门在不同季节所占比例不同, 泵站 JZ06 的绿藻门的占比比其余采样点绿藻门占比大很多, 占比一般达到 30%及以上。不同采样点硅藻门的占比类似, 稳定在 10%左右。

4.2.2 浮游植物生物多样性

1. Shannon-wiener 多样性指数 (H')

种类和种类中个体分配上的均匀性的综合指标, 反映群落结构复杂程度和稳定性。其表达式为: $H' = -\sum_{i=1}^S P_i \times \ln P_i$

一般, H' 分为 3 个水质等级: 0-1 为重度污染, 1-3 中度污染, 大于 3 为清洁。

2. Simpson 多样性指数 (D)

该值的高低表明种类多样性的丰富与贫乏, 由此可反映水质的优劣程度。 $D = 1 / \sum_{i=1}^S P_i^2$. 一般 D 值越大表示水质越清洁。0-3 为严重污染, 3-4 为中度污染, 4-5 为轻度污染, 大于 5 为清洁。

3. Pielou 均匀度指数 (J)

$J = H' / \ln S$. J 为 0-0.2 表示重污染, 0.2-0.5 中污染, 0.5-0.8 轻污染, 大于 0.8 为无污染。

4. 种类优势度 (Y)

$Y = n_i / N_i \cdot f_i$. $Y > 0.02$ 的标准确定优势种。

其中 $P_i = n_i / N_i$, n_i 为样品中第 i 种物种的个体数, N 表示样品中所

有种类的总个数， S 表示样品中所有物种的种类数， f_i 为第 i 种在各站点或月份出现的频率。

根据各样品的藻类定量数据计算样品总细胞密度、藻种丰度、多样性指数及均一度指数等，汇总结果如下表所示。

表 4 进出水各采样日期生物多样性表

采样日期	采样点	采样深度	总细胞密	物种丰度	多样性指	均一度指数 (%)
2018/2/27	JZ01	0.5	1119	26	2.52	77.5
2018/3/6	JZ01	0.5	746	26	2.55	78.4
2018/3/13	JZ01	0.5	611	24	2.10	66.0
2018/3/20	JZ01	0.5	527	27	2.26	68.6
2018/3/27	JZ01	0.5	968	29	1.35	40.0
2018/4/2	JZ01	0.5	409	19	1.20	6.8
2018/4/9	JZ01	0.5	768	26	1.18	36.1
2018/4/16	JZ01	0.5	112	22	2.60	84.2
2018/4/28	JZ01	0.5	111	16	2.27	81.8
2018/5/7	JZ01	0.5	151	18	2.18	75.4
2018/5/14	JZ01	0.5	199	18	1.83	63.2
2018/5/21	JZ01	0.5	76	14	2.15	81.5
2018/5/28	JZ01	0.5	134	17	2.12	74.7
2018/6/4	JZ01	0.5	284	23	2.39	76.4
2018/6/11	JZ01	0.5	688	17	1.07	37.8
2018/6/19	JZ01	0.5	398	10	1.75	75.9
2018/6/25	JZ01	0.5	457	23	2.04	64.9
2018/7/2	JZ01	0.5	267	15	1.99	73.4
2018/7/9	JZ01	0.5	641	17	2.24	79.2
2018/7/16	JZ01	0.5	332	18	2.40	83.1
2018/7/24	JZ01	0.5	362	17	2.33	82.2
2018/7/30	JZ01	0.5	688	16	1.79	64.7
2018/8/6	JZ01	0.5	386	17	2.11	74.5
2018/8/20	JZ01	0.5	506	22	2.50	80.9
2018/8/28	JZ01	0.5	45	9	1.95	88.9
2018/9/10	JZ01	0.5	53	8	1.71	82.2
2018/9/20	JZ01	0.5	273	17	2.23	78.6
2018/9/27	JZ01	0.5	164	13	1.57	61.2
2018/10/8	JZ01	0.5	1351	20	0.88	29.5
2018/10/15	JZ01	0.5	326	13	1.39	54.3
2018/10/22	JZ01	0.5	223	9	1.51	68.8

2018/10/29	JZ01	0.5	251	15	2.07	76.3
2018/11/9	JZ01	0.5	112	13	2.25	87.6
2018/11/15	JZ01	0.5	207	12	1.81	73.0
2018/11/26	JZ01	0.5	148	13	2.32	90.3
2018/12/3	JZ01	0.5	642	19	1.92	65.2
2018/12/12	JZ01	0.5	1103	17	1.59	56.0
2018/12/21	JZ01	0.5	2214	13	1.06	41.4

采样日期	采样点	采样深度	总细胞密	物种丰度	多样性指	均一度指数 (%)
2018/4/28	JZ02	0.5	195.9	13	1.97	76.7
2018/5/7	JZ02	0.5	594.61	17	1.86	65.8
2018/5/14	JZ02	0.5	264.81	22	2.27	73.4
2018/5/21	JZ02	0.5	440.93	21	2.32	76.1
2018/6/4	JZ02	0.5	1031.78	33	2.44	69.7
2018/6/11	JZ02	0.5	1909.41	23	1.48	47.2
2018/6/19	JZ02	0.5	825.99	22	1.94	62.9
2018/6/25	JZ02	0.5	1044.1	26	2.36	72.4
2018/7/2	JZ02	0.5	1030.35	25	2.26	70.3
2018/7/9	JZ02	0.5	464.99	19	2.25	76.3
2018/7/16	JZ02	0.5	339.07	10	2.00	86.8
2018/7/24	JZ02	0.5	202.82	16	2.04	73.5
2018/7/30	JZ02	0.5	915.04	18	1.77	61.3
2018/8/6	JZ02	0.5	396.58	19	2.32	78.7
2018/8/20	JZ02	0.5	698.87	15	1.35	49.7
2018/8/28	JZ02	0.5	96.06	11	2.20	91.6
2018/9/10	JZ02	0.5	131.05	12	2.15	86.5
2018/9/20	JZ02	0.5	1934.02	18	1.88	65.0
2018/9/27	JZ02	0.5	196.18	17	2.18	77.0
2018/10/8	JZ02	0.5	372.61	13	1.56	61.0
2018/10/15	JZ02	0.5	615.46	15	1.48	54.5
2018/10/22	JZ02	0.5	519.51	11	1.23	51.4
2018/10/29	JZ02	0.5	577.5	15	1.63	60.2
2018/11/9	JZ02	0.5	397.34	15	1.72	63.4
2018/11/15	JZ02	0.5	456.95	15	1.73	63.7
2018/11/26	JZ02	0.5	1578.79	19	1.28	43.5
2018/12/3	JZ02	0.5	7282.4	15	1.19	44.1
2018/12/12	JZ02	0.5	692.22	17	1.93	68.0
2018/12/21	JZ02	0.5	1072.16	23	1.83	58.3

金泽水库进出水的 Shannon 多样性指数 H' 位于 1~3, 均一度指

数 J 位于 0.5~0.8。下表为藻类种属组成分布。

表 5 藻类种属组成分布表

藻门	藻种属	检出率[%]	总细胞密度
绿藻	小球藻	97.6	25275.6
绿藻	栅藻	95.8	12041.3
硅藻	针杆藻	92.3	5478.7
隐藻	隐藻	92.2	51311.3
硅藻	小环藻	89.1	4098.6
蓝藻	微囊藻	87.8	370477.7
绿藻	衣藻	66.6	3519.7
绿藻	十字藻	64.8	5570.7
硅藻	直链藻	63.5	11274.8
硅藻	菱形藻	56.4	1140.9
蓝藻	假鱼腥藻	54.0	23304.8
绿藻	四角藻	50.5	631.2
硅藻	卵形藻	49.8	1582.9
裸藻	裸藻	46.4	665.7
蓝藻	棒胶藻	44.9	1147.7
绿藻	四星藻	44.2	2195.7
裸藻	囊裸藻	40.9	1219.1
绿藻	鼓藻	38.5	2497.0
绿藻	异形藻	37.6	1803.3
绿藻	游丝藻	34.7	5656.4
蓝藻	鱼腥藻	34.1	58655.9
硅藻	舟形藻	31.6	293.8
蓝藻	色球藻	31.2	985.4
绿藻	蹄形藻	29.6	398.6
金藻	鱼鳞藻	28.8	566.3
绿藻	弓形藻	28.6	413.8
绿藻	裂丝藻	28.5	10445.0
硅藻	双壁藻	28.4	364.3
绿藻	卵囊藻	26.6	794.7
绿藻	顶棘藻	24.6	266.8
甲藻	薄甲藻	22.3	416.9
绿藻	月牙藻	21.5	416.8
硅藻	曲壳藻	21.2	397.6
绿藻	盘星藻	21.2	1467.3
蓝藻	平裂藻	20.4	12182.2
绿藻	多芒藻	19.7	367.7
绿藻	空球藻	19.5	1763.7
甲藻	拟多甲藻	19.9	300.9
绿藻	丝藻	18.2	932.9



图 12 为基于藻种样品检出总密度的云图，检测云图字体越大表示藻种密度越大。金泽水库 2018 年度优势藻为微囊藻、鱼腥藻、隐藻、小球藻以及假鱼腥藻等。蓝藻能够适应不同的生境，特别对高温、高盐有很强的适应性，同时能与其他很多生物形成共生体，偏好中性和碱性水体。

铜绿微囊藻是常见的引起水华的种类，比水华微囊藻的产毒能力更强。群体形状通常不规则，成熟的群体中间还会出现网状的空泡，这也是该藻容易形成蓝藻水华特有的浮渣的原因。惠氏微囊藻具有潜在的产毒能力，粗大微囊藻漂浮于各静止水体。这两种微囊藻是水库常见微囊藻，但未定种。

19

颤藻：集群生活，大量繁殖时会形成有腥臭味的蓝黑色皮块，会影响水质，是广温、广盐、喜低光照的蓝藻，生命力极强。

束丝藻：在淡水生活的浮游丝状藻，能引起水华。

鱼腥藻：需较高温度，春末、夏初、初秋时，许多种类常在湖泽、池塘大量繁殖，造成水华，引起水质变臭。如水华鱼腥藻、螺旋鱼腥藻及卷曲鱼腥藻，多数喜欢有机物较多的水体，如果大量出现，是水体富营养化的标志。

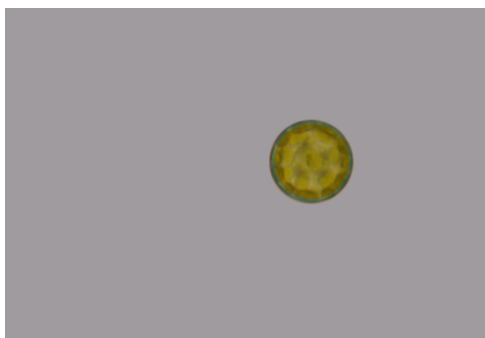
栅藻：淡水中常见的浮游藻类，极喜在营养丰富的静水中繁殖。许多种类对有机污染物具有较强的耐性、如斜生栅藻是甲型中污带的指示种；尖细栅藻、弯曲栅藻、被甲栅藻和四尾栅藻等是乙型中污带的指示种。

隐藻：隐藻门植物种类不多，但分布很广，淡水、海水均有分布，隐藻对温度、光照适应性极强，无论夏季和冬季冰下水体均可成为优势种群。金藻水库常见的有尖隐藻。

假鱼腥藻：是热带、亚热带水库常见的浮游植物富营养化代表种类，常见于水库、河流和湖泊中，属有毒水华藻种，它常于铜绿微囊藻一起在富营养化水体中形成水华。它也常作为微囊藻的伴生种，被微囊藻的胶鞘多糖所包被，以由于其细胞体积小，经常较难发现，只有在群体微囊藻分散成单细胞时，才较易被发现。

黄丝藻：世界性分布的淡水藻类，多生长于池沼中，喜钙质。

4.2.3 常见优势藻图片



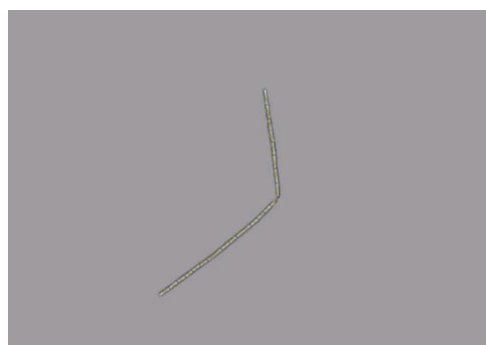
爱氏小环藻



颤藻



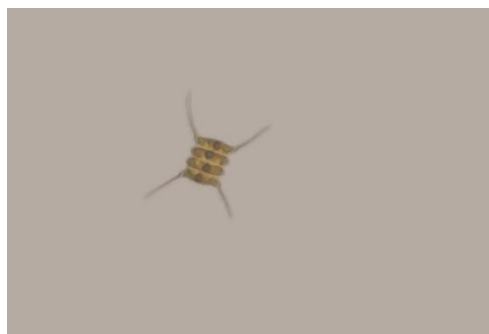
微囊藻



假鱼腥藻



鱼腥藻



栅藻

5. 臭味问题

5.1 潜在产臭藻种

金泽水库内常见的丝状藻有假鱼腥藻、颤藻、束丝藻、浮丝藻和卷曲鱼腥藻。

采用对数线性模型（公式 1.1）构建总 2-MIB 浓度与丝状蓝藻细

胞密度之间的相关关系，结果如下表所示：

$$\log(c_{\text{mib}}+1)=k\log(1+N)+b \quad (1.1)$$

式中 c_{mib} 为总 2-MIB 浓度， N 为丝状蓝藻细胞密度， k 与 b 为模型参数，分布为斜率与截距。

表 6 总 2-MIB 与丝状藻密度的相关关系

丝状藻	模型参数	估计值	P 值
假鱼腥藻	截距 b	0.9048	0.0000
	斜率 k	0.4929	0.0006
颤藻	截距 b	1.8399	0.0000
	斜率 k	-0.1273	0.6774
束丝藻	截距 b	1.5764	0.0000
	斜率 k	0.0291	0.8716
浮丝藻	截距 b	0.8150	0.0172
	斜率 k	0.5281	0.0910

根据不同丝状藻与 2-MIB 关系模型斜的率检验结果，假鱼腥藻与 2-MIB 存在极其显著的正相关关系 ($k>0$, $p<0.001$)，同样浮丝藻与 2-MIB 也存在显著的正相关关系 ($k>0$, $p<0.01$)，结果如下图所示，表明假鱼腥藻和浮丝藻可能是水库中 2-MIB 的潜在产嗅藻种，但目前仅从原位调查得出的结论，后期需要进一步分离藻种确认。

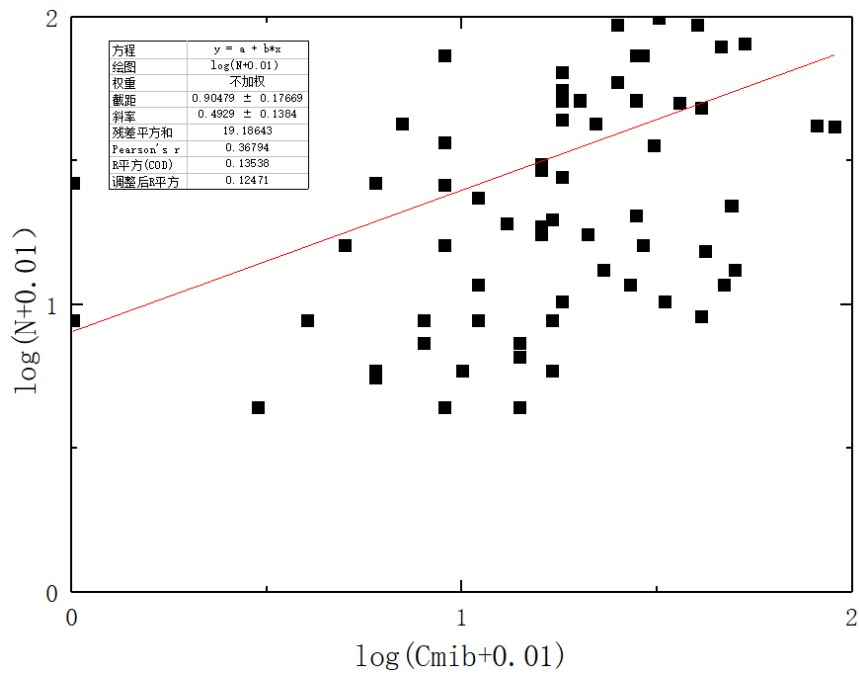


图 13 假鱼腥藻与总 2-MIB 关系

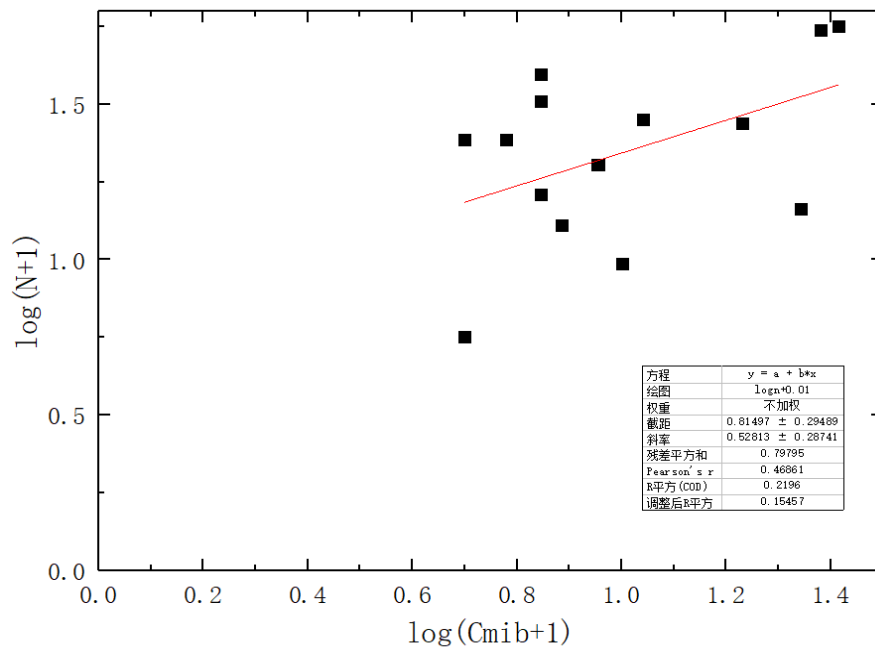


图 14 束丝藻与总 2-MIB 关系

5.2 触发因素

关于水库臭味问题，丝状藻的生长是一个重要的原因。影响丝状藻生长的主要因素包括：温度、营养盐、光照以及水体流动性等，其

中水下光照是一项可调节的参数，相关机理如图 15 所示。

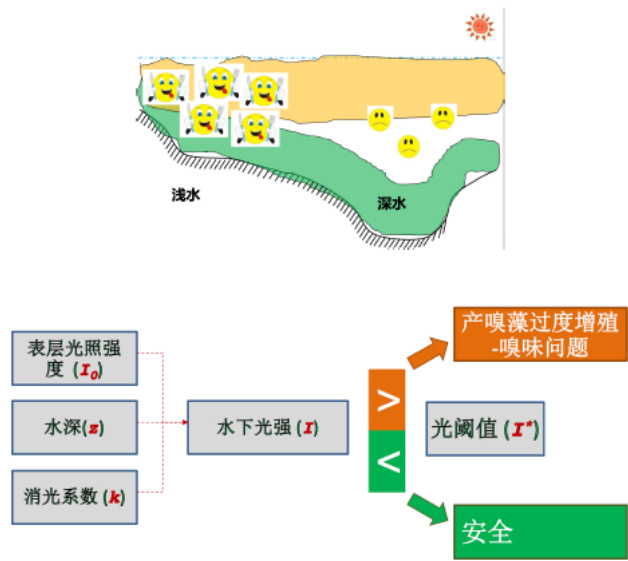


图 15 水位对藻类生长影响示意图及水下光照改变丝状藻生长及产嗅影响

水体透明度同样影响水下光照环境，其除受浊度影响以外，还与水体表层藻细胞等相关。本次调查发现库内水体透明度相对进水较高，出水微囊藻也相对多。

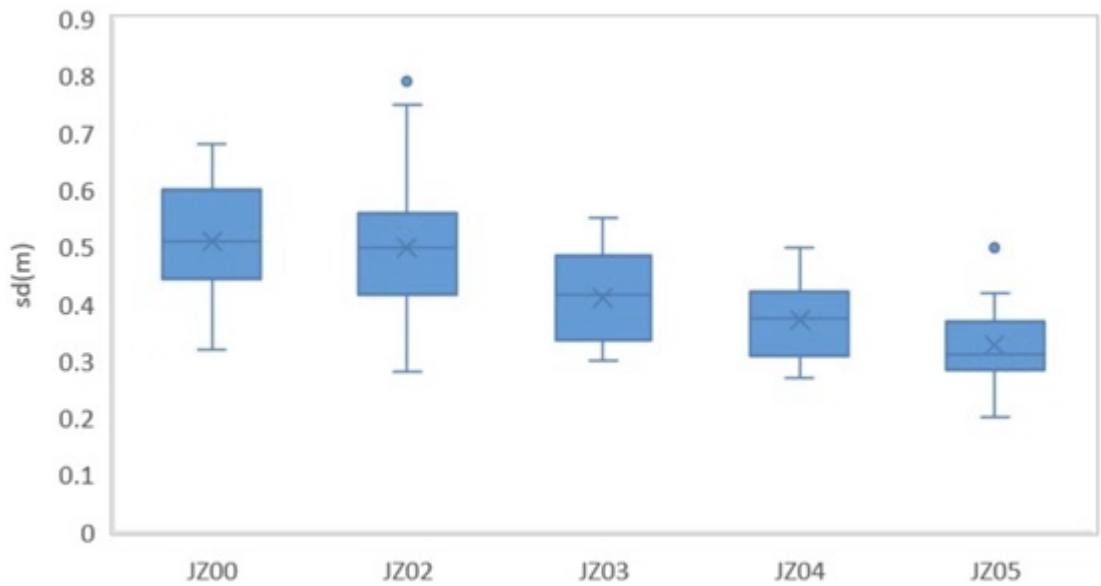


图 16 不同采样点透明度的变化

附录 1

2018 年金泽水库浮游植物名称

tax	taxcn	门	phyta
<i>Tetraedron trigonum</i>	三角四角藻	绿藻	Chlorophyta
<i>Desmidium</i> sp.	三角藻	绿藻	Chlorophyta
<i>Chlamydomonas asymmetrica</i>	不对称衣藻	绿藻	Chlorophyta
<i>Oscillatoria amphibia</i>	两栖颤藻	蓝藻	Cyanophyta
<i>Raphidiopsis sinensia</i>	中华尖头藻	蓝藻	Cyanophyta
<i>Merismopedia sinica</i>	中华平裂藻	蓝藻	Cyanophyta
<i>Fragilaria intermedia</i>	中型脆杆藻	硅藻	Bacillariophyta
<i>Skeletonema costatum</i>	中肋骨条藻	硅藻	Bacillariophyta
<i>Stigeoclonium farctum</i>	丰满毛枝藻	绿藻	Chlorophyta
<i>Peridinium bipes</i>	二角多甲藻	甲藻	Dinophyta
<i>Pediastrum duplex</i>	二角盘星藻纤细变种	绿藻	Chlorophyta
<i>Peridiniopsis penardiforme</i>	佩纳形拟多甲藻	甲藻	Dinophyta
<i>Aphanizomenon issatschenkoi</i>	依沙束丝藻	蓝藻	Cyanophyta
<i>Pseudostaurosira</i> sp.	假十字脆杆藻	硅藻	Bacillariophyta
<i>Pseudanabaena</i> sp.	假鱼腥藻	蓝藻	Cyanophyta
<i>Cosmarium laeve</i>	光滑鼓藻	绿藻	Chlorophyta
<i>Tetraedron caudatum</i>	具尾四角藻	绿藻	Chlorophyta
<i>Strombomonas verrucosa</i>	具瘤陀螺藻	裸藻	Euglenophyta
<i>Staurastrum indentatum</i>	具齿角星鼓藻	绿藻	Chlorophyta
<i>Euastrum</i> sp.	凹顶鼓藻	绿藻	Chlorophyta
<i>Crucigenia</i> sp.	十字藻	绿藻	Chlorophyta
<i>Tetrastrum hastiferum</i>	单棘四星藻	绿藻	Chlorophyta
<i>Pediastrum simplex</i>	单角盘星藻	绿藻	Chlorophyta
<i>Pediastrum simplex</i> var. <i>duodenarium</i>	单角盘星藻具孔变种	绿藻	Chlorophyta
<i>Oocystis</i> sp.	卵囊藻	绿藻	Chlorophyta
<i>Cocconeis</i> sp.	卵形藻	硅藻	Bacillariophyta
<i>Chlamydomonas ovalis</i>	卵形衣藻	绿藻	Chlorophyta
<i>Cryptomonas ovata</i>	卵形隐藻	隐藻	Cryptophyta
<i>Ankistrodesmus convolutus</i>	卷曲纤维藻	绿藻	Chlorophyta
<i>Anabaena circinalis</i>	卷曲鱼腥藻	蓝藻	Cyanophyta
<i>Diploneis</i> sp.	双壁藻	硅藻	Bacillariophyta
<i>Stauroneis smithii</i>	双头辐节藻	硅藻	Bacillariophyta
<i>Hantzschia amphioxys</i>	双尖菱板藻	硅藻	Bacillariophyta
<i>Hammatoidea</i> sp.	双尖藻	蓝藻	Cyanophyta
<i>Amphora</i> sp.	双眉藻	硅藻	Bacillariophyta
<i>Amphipleura</i> sp.	双肋藻	硅藻	Bacillariophyta
<i>Surirella</i> sp.	双菱藻	硅藻	Bacillariophyta
<i>Melosira varians</i>	变异直链藻	硅藻	Bacillariophyta
<i>Chlamydomonas mutabilis</i>	可变衣藻	绿藻	Chlorophyta

<i>Cryptomonas rostrata</i>	吻状隐藻	隐藻	Cryptophyta
<i>Cryptomonas erosa</i>	啮蚀隐藻	隐藻	Cryptophyta
<i>Trachelomonas</i> sp.	囊裸藻	裸藻	Euglenophyta
<i>Treubaria</i> sp.	四刺藻	绿藻	Chlorophyta
<i>Chodatella quadriseta</i>	四刺顶棘藻	绿藻	Chlorophyta
<i>Scenedesmus quadricanda</i>	四尾栅藻	绿藻	Chlorophyta
<i>Tetrastrum</i> sp.	四星藻	绿藻	Chlorophyta
<i>Attheya</i> sp.	四棘藻	硅藻	Bacillariophyta
<i>Arthrodesmus</i> sp.	四棘鼓藻	绿藻	Chlorophyta
<i>Tetrachlorella</i> sp.	四球藻	绿藻	Chlorophyta
<i>Quadricoccus</i> sp.	四粒藻	绿藻	Cryptophyta
<i>Crucigenia quadrata</i>	四角十字藻	绿藻	Chlorophyta
<i>Pediastrum tetras</i>	四角盘星藻	绿藻	Chlorophyta
<i>Tetraedron</i> sp.	四角藻	绿藻	Chlorophyta
<i>Carteria</i> sp.	四鞭藻	绿藻	Chlorophyta
<i>Anabaena azotica</i>	固氮鱼腥藻	蓝藻	Cyanophyta
<i>Coscinodiscus</i> sp.	圆筛藻	硅藻	Bacillariophyta
<i>Leptolyngbya foveolaria</i>	坑形细鞘丝藻	蓝藻	Cyanophyta
<i>Anabaena variabilis</i>	多变鱼腥藻	蓝藻	Cyanophyta
<i>Peridinium</i> sp.	多甲藻	甲藻	Dinophyta
<i>Nitzschia paradoxa</i>	奇异菱形藻	硅藻	Bacillariophyta
<i>Pandorina</i> sp.	实球藻	绿藻	Chlorophyta
<i>Spirulina laxissima</i>	宽松螺旋藻	蓝藻	Cyanophyta
<i>Pedinomonas minor</i>	小型平藻	绿藻	Chlorophyta
<i>Selenastrum minutum</i>	小型月牙藻	绿藻	Chlorophyta
<i>Tribonema minus</i>	小型黄丝藻	黄藻	Xanthophyta
<i>Phormidium tenue</i>	小席藻	蓝藻	Cyanophyta
<i>Oocystis parva</i>	小形卵囊藻	绿藻	Chlorophyta
<i>Chroococcus minor</i>	小形色球藻	蓝藻	Cyanophyta
<i>Closterium venus</i>	小新月藻	绿藻	Chlorophyta
<i>Cyclotella</i> sp.	小环藻	硅藻	Bacillariophyta
<i>Chlorella</i> sp.	小球藻	绿藻	Chlorophyta
<i>Chlamydomonas microsphealla</i>	小球衣藻	绿藻	Chlorophyta
<i>Oscillatoria tenuis</i>	小颤藻	蓝藻	Cyanophyta
<i>Raphidiopsis</i> sp.	尖头藻	蓝藻	Cyanophyta
<i>Chroomonas acuta</i>	尖尾蓝隐藻	隐藻	Cryptophyta
<i>Euglena oxyuris</i>	尖尾裸藻	裸藻	Euglenophyta
<i>Gyrosigma acuminatum</i>	尖布纹藻	硅藻	Bacillariophyta
<i>Scenedesmus acuminatus</i>	尖细栅藻	绿藻	Chlorophyta
<i>Synedra acus</i>	尖针杆藻	硅藻	Bacillariophyta
<i>Uronema</i> sp.	尾丝藻	绿藻	Chlorophyta
<i>Oscillatoria princeps</i>	巨颤藻	蓝藻	Cyanophyta

<i>Scenedesmus brasiliensis</i>	巴西栅藻	绿藻	Chlorophyta
<i>Chlamydomonas braunii</i>	布朗衣藻	绿藻	Chlorophyta
<i>Gyrosigma</i> sp.	布纹藻	硅藻	Bacillariophyta
<i>Phormidium</i> sp.	席藻	蓝藻	Cyanophyta
<i>Tabellaria</i> sp.	平板藻	硅藻	Bacillariophyta
<i>Merismopedia</i> sp.	平裂藻	蓝藻	Cyanophyta
<i>Quadrigula</i> sp.	并联藻	绿藻	Chlorophyta
<i>Closterium kutzingii</i>	库津新月藻	绿藻	Chlorophyta
<i>Tetrastrum heterocanthum</i>	异刺四星藻	绿藻	Chlorophyta
<i>Dysmorphococcus</i> sp.	异形藻	绿藻	Chlorophyta
<i>Comphonema</i> sp.	异极藻	硅藻	Bacillariophyta
<i>Schroederia</i> sp.	弓形藻	绿藻	Chlorophyta
<i>Raphidiopsis curvata</i>	弯型尖头藻	蓝藻	Cyanophyta
<i>Microcystis</i> sp.	微囊藻	蓝藻	Cyanophyta
<i>Tetraedron minimum</i>	微小四角藻	绿藻	Chlorophyta
<i>Peridinium pusillum</i>	微小多甲藻	甲藻	Dinophyta
<i>Closterium parvulum</i>	微小新月藻	绿藻	Chlorophyta
<i>Micrasterias</i> sp.	微星鼓藻	绿藻	Chlorophyta
<i>Chlamydomonas debaryana</i>	德巴衣藻	绿藻	Chlorophyta
<i>Microcystis wesenbergii</i>	惠氏微囊藻	蓝藻	Cyanophyta
<i>Melosira italica</i>	意大利直链藻	硅藻	Bacillariophyta
<i>Cocconeis placentula</i>	扁圆卵形藻	硅藻	Bacillariophyta
<i>Navicula palcentula</i>	扁圆舟形藻	硅藻	Bacillariophyta
<i>Phacus</i> sp.	扁裸藻	裸藻	Euglenophyta
<i>Kirchneriella lunaris</i>	扭曲蹄形藻	绿藻	Chlorophyta
<i>Peridiniopsis</i> sp.	拟多甲藻	甲藻	Dinophyta
<i>Westellopsis</i>	拟惠氏藻	绿藻	Chlorophyta
<i>Closteriopsis</i> sp.	拟新月藻	绿藻	Chlorophyta
<i>Oscillatoria subbrevis</i>	拟短形颤藻	蓝藻	Cyanophyta
<i>Schroederia nitzschoides</i>	拟菱形弓形藻	绿藻	Chlorophyta
<i>Microcystis novacekii</i>	挪氏微囊藻	蓝藻	Cyanophyta
<i>Microcystis botrys</i>	放射微囊藻	蓝藻	Cyanophyta
<i>Colponema loxodes</i>	斜沟鞭虫	原生动物门	Miozoa
<i>Closterium</i> sp.	新月藻	绿藻	Chlorophyta
	明盘藻	硅藻	Bacillariophyta
<i>Asterionella</i> sp.	星杆藻	硅藻	Bacillariophyta
<i>Achnanthes</i> sp.	曲壳藻	硅藻	Bacillariophyta
<i>Cymbella lunata</i>	月形桥弯藻	硅藻	Bacillariophyta
<i>Selenastrum</i> sp.	月牙藻	绿藻	Chlorophyta
<i>Navicula bacillum</i>	杆状舟形藻	硅藻	Bacillariophyta
<i>Stichococcus bacillaris</i>	杆裂丝藻	绿藻	Chlorophyta
<i>Aphanizomenon</i> sp.	束丝藻	蓝藻	Cyanophyta

<i>Gomphosphaeria</i> sp.	束球藻	蓝藻	Cyanophyta
<i>Chroococcus tenax</i>	束縛色球藻	蓝藻	Cyanophyta
<i>Spirulina maxima</i>	极大螺旋藻	蓝藻	Cyanophyta
<i>Cymbella perpusilla</i>	极小桥弯藻	硅藻	Bacillariophyta
<i>Scenedesmus</i> sp.	栅藻	绿藻	Chlorophyta
<i>Rhizosolenia</i> sp.	根管藻	硅藻	Bacillariophyta
<i>Cymbella</i> sp.	桥弯藻	硅藻	Bacillariophyta
<i>Cyclotella meneghiniana</i>	梅尼小环藻	硅藻	Bacillariophyta
<i>Euglena acus</i>	梭形裸藻	裸藻	Euglenophyta
<i>Gonatozygon</i> sp.	棒形鼓藻	绿藻	Chlorophyta
<i>Scenedesmus denticulatus</i>	棒杆藻	硅藻	Bacillariophyta
<i>Rhabdoderma</i> sp.	棒条藻	蓝藻	Cyanophyta
<i>Rhabdogloea</i> sp.	棒胶藻	蓝藻	Cyanophyta
<i>Meringosphaera</i> sp.	棘球藻	绿藻	Chlorophyta
<i>Oocystis elliptica</i>	椭圆卵囊藻	绿藻	Chlorophyta
<i>Gomphonema olivaceum</i>	橄榄型异极藻	硅藻	Bacillariophyta
<i>Microcystis flos-aquae</i>	水华微囊藻	蓝藻	Cyanophyta
<i>Aphanizomenon flos-aquae</i>	水华束丝藻	蓝藻	Cyanophyta
<i>Anabaena flos-aquae</i>	水华鱼腥藻	蓝藻	Cyanophyta
<i>Spirogyra</i> sp.	水绵	绿藻	Chlorophyta
<i>Oocystis borgei</i>	波吉卵囊藻	绿藻	Chlorophyta
<i>Achnanthes orenulata</i>	波缘曲壳藻	硅藻	Bacillariophyta
<i>Limnithrix</i> sp.	泽丝藻	蓝藻	Cyanophyta
<i>Planktothrix</i> sp.	浮丝藻	蓝藻	Cyanophyta
<i>Planktosphaeria gelatinosa</i>	浮球藻	绿藻	Chlorophyta
<i>Planktolyngbya</i> sp.	浮鞘丝藻	蓝藻	Cyanophyta
<i>Planctonema</i> sp.	游丝藻	绿藻	Chlorophyta
<i>Chroococcus limneticus</i>	湖沼色球藻	蓝藻	Cyanophyta
<i>Lyngbya limnetica</i>	湖泊鞘丝藻	蓝藻	Cyanophyta
<i>Oocystis lacustis</i>	湖生卵囊藻	绿藻	Chlorophyta
<i>Merismopedia punctata</i>	点形平裂藻	蓝藻	Cyanophyta
<i>Scenedesmus javaensis</i>	爪哇栅藻	绿藻	Chlorophyta
<i>Actinocyclus ehrenbergii</i>	爱氏辐环藻	硅藻	Bacillariophyta
<i>Ankistrodesmus angustus</i>	狭形纤维藻	绿藻	Chlorophyta
<i>Navicula verecunda</i>	狭轴舟形藻	硅藻	Bacillariophyta
<i>Ulothrix zonata</i>	环丝藻	绿藻	Chlorophyta
<i>Golenkinia paucispina</i>	疏刺多芒藻	绿藻	Chlorophyta
<i>Phormidium corium</i>	皮状席藻	蓝藻	Cyanophyta
<i>Pediastrum</i> sp.	盘星藻	绿藻	Chlorophyta
<i>Gonium</i> sp.	盘藻	绿藻	Chlorophyta
<i>Melosira</i> sp.	直链藻	硅藻	Bacillariophyta
<i>Navicula pupula</i>	瞳孔舟形藻	硅藻	Bacillariophyta

<i>Tetrastrum staurogeniaeforme</i>	短刺四星藻	绿藻	Chlorophyta
<i>Brachysira</i> sp.	短纹藻	硅藻	Bacillariophyta
<i>Eunotia</i> sp.	短缝藻	硅藻	Bacillariophyta
<i>Coelastrum</i> sp.	空星藻	绿藻	Chlorophyta
<i>Eudorina</i> sp.	空球藻	绿藻	Chlorophyta
<i>Surirella anguatata</i>	窄双菱藻	硅藻	Bacillariophyta
<i>Gomphonema angustatum</i>	窄异极藻	硅藻	Bacillariophyta
<i>Closterium gracile</i>	纤细新月藻	绿藻	Chlorophyta
<i>Selenastrum gracile</i>	纤细月牙藻	绿藻	Chlorophyta
<i>Staurastrum gracile</i>	纤细角星鼓藻	绿藻	Chlorophyta
<i>Ankistrodesmus</i> sp.	纤维藻	绿藻	Chlorophyta
<i>Elakatothrix</i> sp.	纺锤藻	绿藻	Chlorophyta
<i>Aphanocapsa elachista</i>	细小隐球藻	蓝藻	Cyanophyta
<i>Gyrosigma lunata</i>	细布纹藻	硅藻	Bacillariophyta
<i>Asterionella formosa</i>	美丽星杆藻	硅藻	Bacillariophyta
<i>Pleurosigma formosum</i>	美丽曲舟藻	硅藻	Bacillariophyta
<i>Oscillatoria formosa</i>	美丽颤藻	蓝藻	Cyanophyta
<i>Caloneis</i> sp.	美壁藻	硅藻	Bacillariophyta
<i>Pinnularia</i> sp.	羽纹藻	硅藻	Bacillariophyta
<i>Pteromonas</i> sp.	翼膜藻	绿藻	Chlorophyta
<i>Frustulia</i> sp.	肋缝藻	硅藻	Bacillariophyta
<i>Navicula ulna</i>	肘状舟形藻	硅藻	Bacillariophyta
<i>Synedra ulna</i>	肘状针杆藻	硅藻	Bacillariophyta
<i>Kirchneriella obesa</i>	肥胖蹄形藻	绿藻	Chlorophyta
<i>Nephrocytium</i> sp.	肾形藻	绿藻	Chlorophyta
<i>Fragilaria</i> sp.	脆杆藻	硅藻	Bacillariophyta
<i>Coelosphaerium</i> sp.	腔球藻	蓝藻	Cyanophyta
<i>Navicula</i> sp.	舟形藻	硅藻	Bacillariophyta
<i>Chroococcus</i> sp.	色球藻	蓝藻	Cyanophyta
<i>Arthrospira</i> sp.	节旋藻	蓝藻	Cyanophyta
<i>Nitzschia</i> sp.	菱形藻	硅藻	Bacillariophyta
<i>Glenodinium</i> sp.	薄甲藻	甲藻	Dinophyta
<i>Chlorella pyrenoidosa</i>	蛋白核小球藻	绿藻	Chlorophyta
<i>Ankistrodesmus spiralis</i>	螺旋型纤维藻	绿藻	Chlorophyta
<i>Schroederia spiralis</i>	螺旋弓形藻	绿藻	Chlorophyta
<i>Spirulina</i> sp.	螺旋藻	蓝藻	Cyanophyta
<i>Melosira granulata</i>	螺旋颗粒直链藻	硅藻	Bacillariophyta
<i>Chlamydomonas</i> sp.	衣藻	绿藻	Chlorophyta
<i>Gymnodinium</i> sp.	裸甲藻	甲藻	Dinophyta
<i>Euglena</i> sp.	裸藻	裸藻	Euglenophyta
<i>Tetradron tumidulum</i>	规则四角藻	绿藻	Chlorophyta
<i>Closterium cornu</i>	角形新月藻	绿藻	Chlorophyta

<i>Staurostrum</i> sp.	角星鼓藻	绿藻	Chlorophyta
<i>Kirchneriella</i> sp.	蹄形藻	绿藻	Chlorophyta
<i>Actinocyclus</i> sp.	辐环藻	硅藻	Bacillariophyta
<i>Radiococcus</i> sp.	辐球藻	绿藻	Chlorophyta
<i>Stauroneis</i> sp.	辐节藻	硅藻	Bacillariophyta
<i>Gomphonema subclavatum</i>	近棒形异极藻	硅藻	Bacillariophyta
<i>Nitzschia sublinearis</i> Hust	近线性菱形藻	硅藻	Bacillariophyta
<i>Synedra affinis</i>	近缘针杆藻	硅藻	Bacillariophyta
<i>Tribonema affine</i>	近缘黄丝藻	黄藻	Xanthophyta
<i>Pteromonas lenticularis</i>	透镜翼膜藻	绿藻	Chlorophyta
<i>Kephyrion</i> sp.	金杯藻	金藻	Chrysophyta
<i>Microcystis</i> JZ	金泽微囊藻	蓝藻	Cyanophyta
<i>Raphidonema</i> sp.	针丝藻	绿藻	Chlorophyta
<i>Synedra</i> sp.	针杆藻	硅藻	Bacillariophyta
<i>Closterium aciculare</i>	针状新月藻	绿藻	Chlorophyta
<i>Actinastrum aciculare</i>	针状集星藻	绿藻	Chlorophyta
<i>Microcystis aeruginosa</i>	铜绿微囊藻	蓝藻	Cyanophyta
<i>Dinobryon</i> sp.	锥囊藻	金藻	Chrysophyta
<i>Chodatella longiseta</i>	长刺顶棘藻	绿藻	Chlorophyta
<i>Strombomonas</i> sp.	陀螺藻	裸藻	Euglenophyta
<i>Aphanothece</i> sp.	隐杆藻	蓝藻	Cyanophyta
<i>Aphanocapsa</i> sp.	隐球藻	蓝藻	Cyanophyta
<i>Cryptomonas</i> sp.	隐藻	隐藻	Cryptophyta
<i>Actinastrum</i> sp.	集星藻	绿藻	Chlorophyta
<i>Lyngbya</i> sp.	鞘丝藻	蓝藻	Cyanophyta
<i>Melosira granulata</i> var. <i>angustissima</i>	颗粒直链藻极狭变种	硅藻	Bacillariophyta
<i>Oscillatoria</i> sp.	颤藻	蓝藻	Cyanophyta
<i>Microcystis ichthyoblabe</i>	鱼害微囊藻	蓝藻	Cyanophyta
<i>Anabaena</i> sp.	鱼腥藻	蓝藻	Cyanophyta
<i>Mallomonas</i> sp.	鱼鳞藻	金藻	Chrysophyta
<i>Synura</i> sp.	黄群藻	金藻	Chrysophyta
<i>Cosmarium</i> sp.	鼓藻	绿藻	Chlorophyta
<i>Scenedesmus denticulatus</i>	齿牙栅藻	绿藻	Chlorophyta